

禀赋结构、研发创新和产业升级^①

王勇^② 樊仲琛^③ 李欣泽^④

内容提要：本文研究经济体禀赋结构对产业创新的内在影响机制。研究发现，(1) 中国制造业各子产业发明专利申请数所占份额与相对资本密集度呈倒U形曲线关系；(2) 发明专利申请数份额与劳动生产率离技术前沿的差距呈负相关关系。跨国数据亦支持类似发现。为解释这两个现象，本文首次将创新纳入新结构经济学分析框架，构建了一个在资本密集度上具有异质性的多产业的内生增长模型。模型发现，产业的资本密集度与整个经济体的禀赋结构越一致，就越能降低生产要素成本，从而创新就越有利可图，研发创新的投入和产出就越高。反之，产业越偏离禀赋结构，创新的激励、投入与产出就都越低，从而解释了现象一。本文在模型中进一步引入离技术前沿差距的产业异质性，考虑禀赋结构如何影响不同产业在技术模仿与自主创新之间的内生选择，解释了现象二，并对新结构经济学产业划分中的“领先型”、“追赶型”和“转进型”这三类产业的各自最优创新发展路径进行了刻画。

关键词：新结构经济学；禀赋结构；技术差距；研发创新；产业升级

^① 作者衷心感谢各位专家学者于武汉大学经济与管理学院承办的第十九届中国青年经济学者论坛、中南财经政法大学文澜学院承办的第一届新结构经济学学术研讨会、第一届新结构经济学师资培训会、西安交通大学新结构经济学特邀讲座、西安外国语大学新结构经济学主旨演讲、上海市统计局新结构经济学研讨会、江苏大学新结构经济学知识产权研究中心学术研讨会和北京大学新结构经济学研究院内部学术讨论班上提出的宝贵意见和建议，特别感谢林毅夫教授的评论意见，文责自负。

^② 王勇（通讯作者）：北京大学新结构经济学学术副院长。邮政地址：北京市海淀区颐和园路5号北京大学新结构经济学研究院英杰交流中心416N办公室，邮政编码：100871，电子邮箱：yongwang@nsd.pku.edu.cn，电话号码：18810668170

^③ 北京大学国家发展研究院博士生。电子邮箱：zcfan2017@nsd.pku.edu.cn

^④ 北京大学新结构经济学研究院博士后。电子邮箱：xinzeli@nsd.pku.edu.cn

作者简介

王勇（通讯作者）：北京大学新结构经济学研究院创始成员、学术副院长，博士生导师。邮政地址：北京市海淀区颐和园路5号北京大学新结构经济学研究院英杰交流中心416N办公室，邮政编码：100871，电子邮箱：yongwang@nsd.pku.edu.cn。曾任职于香港科技大学经济系与世界银行，芝加哥大学经济系博士，博士论文指导委员会包括 Gary Becker, Robert Lucas, Jr., Roger Myerson 与 Lars Peter Hansen 等四位诺贝尔经济学奖得主。主要研究领域为经济增长、宏观发展、产业升级、中国与印度经济、政治经济学、国际经济学。论文发表于 Journal of Development Economics, Journal of Monetary Economics、China Economic Review 等国际学术期刊。China and the World Economy (SSCI) 副主编，Economic Modelling (SSCI) 副主编，China Economic Review 特邀编辑，China Agricultural Economic Review 特邀编辑，《经济学（季刊）》特邀编辑。著有《新结构经济学思与辩》、《新结构经济学新在何处》（与林毅夫、付才辉合作）、《产业政策：总结、反思与展望》（与林毅夫、张军、寇宗来合作）、《新结构经济学视角下的中国知识产权战略：理论与实证》（与唐恒、赵秋运合作）（皆由北大出版社出版）。曾荣获 2020 年教育部第八届高校科学研究优秀成果一等奖，2017 年度中国青年经济学家奖，2018 年首届张培刚发展经济学青年学者奖，香港科技大学商学院 Franklin 最佳教学奖，芝加哥大学 Martin and Magaret Lee Prize。担任世界银行、亚洲开发银行与美国联邦储备银行等机构的顾问。应邀在国际货币基金组织、世界银行、美国国务院、美国财政部、美国国际贸易委员会、美联储、亚洲开发银行与韩国金融研究所、中国国家发改委、中国人民银行、国务院发展研究中心等政策机构介绍自己的研究和政策建议。承担中财办、国家发改委、国务院发展研究中心、商务部等机构委托的多部政策研究课题。

樊仲琛：北京大学国家发展研究院博士生。主要研究方向为新结构经济学、创新增长。

李欣泽：北京大学新结构经济学研究院博士后、山东大学西方经济学博士。主要研究方向为资源错配与经济发展、区域经济发展。

一、引言

当前我国经济正处于由高速增长阶段向高质量发展阶段转变的关键时期,通过创新促进产业转型升级是实现从“中国制造”向“中国创造”转变的必然选择。我国各产业存在着迅速增长、趋于稳定和逐渐退出等几种不同的发展趋势,经济环境的变化对每个产业创新的影响也不相同。所以,准确识别产业不同创新趋势的产生原因和发展路径对于全面把握创新驱动发展战略具有重要意义。

主流的创新与增长理论认为,发展中国家可以通过对发达国家学习模仿,以较低成本和较快速度实现技术进步,具有经济发展的后来者优势。然而事实是很多发展中国家采用扶持重工业优先发展的赶超战略,虽然在该产业上的确存在较大的技术模仿空间,但并未实现快速发展(林毅夫等,2006;林毅夫,2014;陈斌开和伏霖,2018)。新结构经济学对此做出如下解释:在给定经济体资本、劳动力和自然资源等禀赋结构的条件下,如果一个产业的要素密集度偏离经济体禀赋结构,就需要过多使用稀缺要素,导致生产成本过高,使得企业缺乏自生能力,即使存在技术上的后来者优势,也无法获得快速的经济增长(Lin,2009;林毅夫,2010)。可见,经济体的要素禀赋结构对于选择合适的产业与技术至关重要,但现有的创新理论文献却并未充分考虑要素禀赋结构的作用。本文首次在新结构经济学的框架下,从禀赋驱动的产业转型升级角度出发,研究具有不同资本密集度的异质性产业在经济发展过程中各自最优的创新发展路径。

与本文相关的文献主要包括以下三类:第一,新结构经济学视角下的产业结构变迁系列文献。新结构经济学认为推动结构转型的主要驱动力是经济体禀赋结构的变化。具体而言,随着经济体资本劳动比(要素禀赋结构)不断上升,资本相对劳动力的价格下降,使得资本密集型产业逐渐取代劳动密集型产业,推动产业升级与经济增长(Ju et al., 2015; Lin et al., 2019),且产业升级的速度与贸易伙伴国技术进步、贸易自由化速度(王勇,2018)、收入分配等有关(王勇与沈仲凯,2018)。进一步,禀赋结构变化也会影响政府实施产业政策和产业结构的变迁(徐朝阳和林毅夫,2010)。上述这类文献大都假设所有先进技术已经存在且免费可得,并没有讨论发展中国家对于新技术的研发创新过程。第二,内生经济增长理论文献。该文献的基础理论以水平创新(Romer, 1990)和垂直创新(Aghion & Howitt, 1992)为主。基于这两大基础模型,已有大量文献探究了具有不同规模、研发能力和生产率的企业或产业的异质性创新机制(Klette & Kortum, 2004; Akcigit & Kerr, 2018; Acemoglu et al., 2018; Aghion et al., 2018; Herrendorf & Valentinyi, 2018)。另外,也有文献从异质性资本的角度,研究包含新技术从而具有更高劳动生产率的新型资本如何内生地被研发生产出来并且逐渐淘汰旧式资本,进而获得可持续的长期经济增长(Boldrin & Levine, 2009)。对于发展中国家,当技术水平和世界前沿差距较大时,经济体应主要依靠模仿实现技术进步;当技术接近世界前沿时,应进行自主创新(Acemoglu et al., 2006)。但以上文献基本上都在模型中假设单要素或者单产业,忽略了要素禀赋结构对不同产业创新的差异化影响,也不能有效地解释发展中国家在不同产业上的技术变迁事实。第三,国内有关创新的相关研究。国内大量研究发现,中国在学习模仿发达经济体的过程中,如果所引进的技术符合比较优势,模仿成本较低,就能够实现较快的经济增长(林毅夫和张鹏飞,2005;潘士远和林毅夫,2005;潘士远,2008)。引进技术的效果在地区之间的差异较大,对经济发展的效果也不同(吴延兵,2008;唐未兵等,2014)。但这类文献并未细致研究不同产业的创新发展。只有从更基本的产业层面出发,才能够更深入地分析创新对地区生产率的作用机制,提出行之有效的政策建议。

本文首先借助中国工业企业数据库和专利数据库,通过定量分析发现如下特征事实:(1)在全国层面,二位码分类制造业子产业占制造业的发明专利申请份额与该子产业的相对资本

密度^⑤呈倒 U 形曲线关系；(2) 在中国分省层面，若子产业劳动生产率离技术前沿差距越大，该产业发明专利申请数份额就越小，并且控制了离技术前沿差距和其他相关变量以后，产业的发明专利申请数份额与该产业的相对资本密集度之间依旧呈倒 U 形曲线关系；(3) WIOD 跨国数据中也存在与中国分省数据类似的现象。其次，我们在新结构经济学理论框架下，首次构建了同时具有资本和劳动两种生产要素的多产业的内生经济增长模型，对以上特征事实进行解释。在模型中，不同产业在资本密集度上存在差异，且都有对应的研发部门做内生的水平创新。模型刻画的机制如下：如果一个产业的资本密集度越接近经济体的禀赋结构（资本劳动比），那么该产业由于更加符合要素禀赋结构决定的比较优势，得到更高的利润，于是创新成功后所获得的专利的市场价值就更高，因此研发部门在该产业上就更有激励投资创新，发明专利的申请份额也就越高。反之，如果一个产业的资本密集度相对于禀赋结构过大或过小，则都不符合比较优势，对应发明专利的市场价值都较低，创新激励就较弱，因此我们就可以解释第一个特征事实，即数据中发明专利申请数份额和相对资本密集度之间的倒 U 形曲线关系。进一步，我们同时将产业离国际技术前沿差距的异质性引入模型，每个产业的技术进步率由自主研发投入与国际间技术外溢扩散共同决定，两者呈替代关系。结果发现离国际技术前沿差距越大，则技术外溢效应越大，进行自主创新的必要性就越低。最后，新结构经济学将一个中等收入经济体中的产业分为五大类：(1) 技术接近或处于世界前沿的领先型产业，(2) 技术距离世界前沿较远的追赶型产业，(3) 曾经符合但现在失去比较优势的转进型产业，(4) 人力资本密集、研发周期较短的换道超车型产业，(5) 对国防安全和经济安全有重大意义的战略型产业（Lin, 2017；林毅夫等，2018；王勇，2019）。其中“领先型”、“追赶型”和“转进型”三类的划分依据主要是产业的技术水平离国际前沿的差距，以及产业要素密集度与经济体禀赋结构的一致性程度。本文将以上三类产业同时纳入统一的理论模型，对各自创新发展路径进行研究。主要结论是，符合要素禀赋比较优势的领先型和追赶型产业的内生技术进步速度较快，其中追赶型产业离国际前沿技术差距较大，因此在市场均衡路径上，自主研发投入会随着禀赋结构的升级和与国际技术距离的缩短而不断上升，该类产业逐渐变成“领先型”；领先型产业要素密集度接近禀赋结构，附加值和利润份额都比较高，而且由于技术模仿空间很小，科研投入、专利产出都比较高；随着资本的进一步积累，该类产业也可能会因为逐渐远离禀赋结构而变成转进型产业，此时行业的盈利能力降低，均衡时的自主创新投入会逐渐减少，技术进步率也会逐渐下降。

相比既有文献，本文的贡献重点体现在以下三个方面：第一，本文首次利用产业层面数据发现并梳理了以下新的定量特征事实：制造业的子产业的发明专利申请数份额与相对资本密集度之间存在倒 U 形曲线关系，并且与该产业离世界技术前沿的差距负相关，该事实在中国分省数据和跨国数据中都非常稳健，这为研究中国和其他国家在不同发展阶段下不同产业上的创新行为提供了一个新的视角。第二，不同于已有文献通常假设单要素，或单产业，或虽然多个产业但互相之间完全对称的做法，本文将多种生产要素、多个产业（且不同产业在资本密集度与同国际技术前沿距离这两个维度上存在异质性）引入到包含创新的内生增长理论中。模型不仅能够解释所观察到的创新在不同发展阶段下的不同产业层面的定量特征事实，而且还可以解释为何不同产业各自具有不同的创新路径，突出了要素禀赋结构对于产业创新的重要影响，进一步拓展了关于产业的创新与升级的理论。第三，新结构经济学文献中的现有理论模型通常假定发展中国家的所有技术都是可以免费从外部获得的，本文放松了这一假定，首次在新结构经济学框架内探究了一个经济体的要素禀赋结构如何驱动具有不同资本密集度的产业的创新行为，并将国际间的技术差距与技术模仿同时引入模型，刻画了新结构经济学中五大类产业划分中的“领先型”、“追赶型”和“转进型”这三类产业的不同的创新发展路径，为后续新结构经济学关于技术创新的研究提供了一个基准模型。

^⑤制造业某子产业的相对资本密集度定义为该子产业的资本劳动比除以制造业整体的资本劳动比。

本文其余部分安排如下：第二部分是定量事实，第三部分是基本模型，第四部分在基本模型上进一步引入国际间技术扩散，第五部分是结论。

二、定量事实

这部分的主要目的是从数据中梳理出产业层面关于创新、要素密集度与禀赋结构的一致性、产业绩效、离技术前沿差距之间关系的定量特征事实。第一节使用中国在全国层面的制造业专利数据，使用二位码分类制造业子产业所占制造业总的发明专利申请数份额与该产业相对资本密集度做散点图，拟合后发现二者呈现倒 U 形曲线关系。第二节使用中国在省级层面的制造业二位码分类的产业数据，加入控制变量以及时间和产业的双重固定效应，进行回归分析，发现产业的发明专利申请数份额与相对资本密集度之间依旧呈现倒 U 形曲线关系，且与离前沿技术的差距负相关。第三节使用跨国数据，发现与第二节非常类似的倒 U 型曲线关系和负相关关系。

（一）中国专利数据处理与事实描述

本节企业经营信息来自中国工业企业数据库，样本区间为 1998 年到 2013 年^⑥。该数据库包含了规模以上全部国有与非国有的工业企业数据，2011 年之前标准为主营业务收入 500 万元人民币以上，2011 年后调整为 2000 万元人民币以上。数据清理和企业的资本存量计算^⑦参考文献中常用的 Brandt et al. (2012) 和杨汝岱 (2015) 文中的方法。本文衡量创新主要使用国家知识产权局的中国专利数据库中的企业层面专利申请变量^⑧，样本区间为 2002 年到 2013 年。我们将中国工业企业数据库和中国专利数据库按照企业名称进行文本匹配，具体方法参考 He et al. (2018)。虽然我们的样本只包含了规模以上的工业企业，但从加总的角度来看，样本区间内规模以上企业的专利申请数占整个工业企业的 82%，发明专利申请数占所有工业企业的 86%，因此本文的样本对于产业层面的研究而言具有较好的代表性。

为了研究产业创新和要素禀赋结构之间的关系，图 1 显示 2002 年制造业中的每一个二位码子产业的相对资本密集度（横坐标，用该产业的资本劳动比除以整个制造业的资本劳动比来衡量）与该子产业的发明专利申请数占制造业总体的发明专利申请数的份额（下称“发明专利申请数份额”，纵坐标）之间的散点图，对两者进行二次函数曲线拟合呈倒 U 形关系。图 2 显示的是 2013 年的情形，倒 U 形曲线关系依旧存在。

^⑥去除数据质量较差的 2010 年和未统计固定资产原值的 2009 年。

^⑦本文使用永续盘存法，设资本积累的起点为 1986 年，折旧率每年 10%。

^⑧相比发明专利申请量，授权量存在以下问题。第一，申请到授权之间存在时间滞后，且滞后时间从 1 到 10 年不等，造成了断尾偏差，且不能反映当年的创新。第二，Aghion et al. (2018) 论述，从申请到授权之间可能会受到行政和游说等无关创新的因素影响。

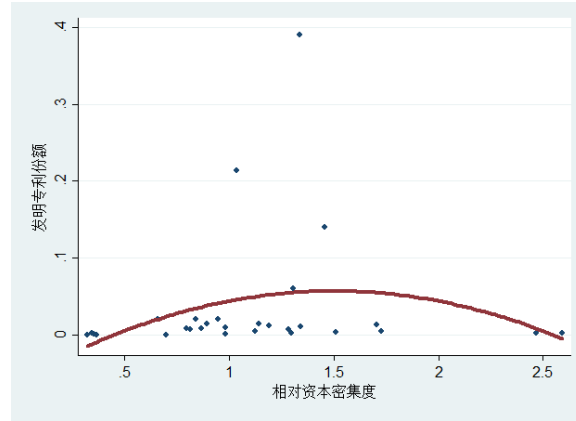


图 1 2002 年产业相对资本密集度和发明专利申请数份额

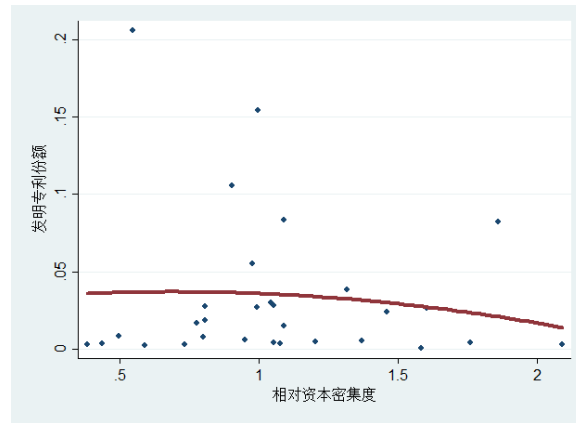


图 2 2013 年产业相对资本密集度和发明专利申请数份额

为了检验这种倒 U 形曲线关系的稳健性，我们去除了离群值，结果如图 3 和图 4 所示，发明专利申请数份额和相对的资本密集度之间的倒 U 形曲线关系依然存在。

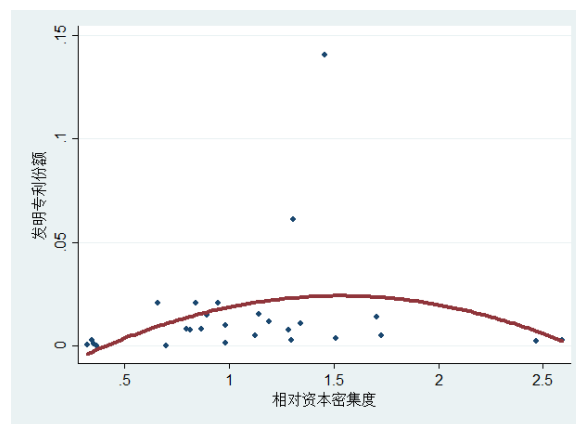


图 3 去除离群值后 2002 年产业相对资本密集度和发明专利申请数份额

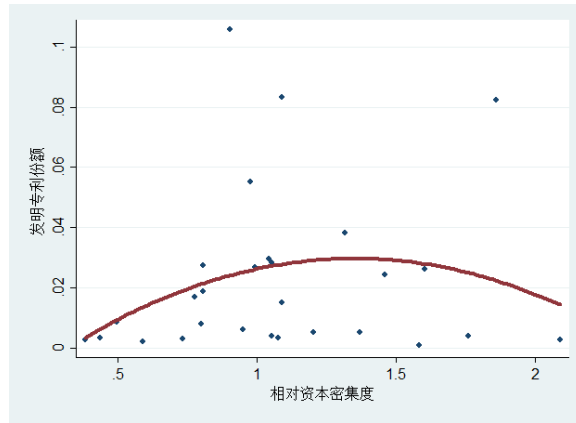


图 4 去除离群值后 2013 年产业相对资本密集度和发明专利申请数份额

进一步控制了产业和年份的固定效应后^⑨，相对资本密集度和发明专利申请数份额之间仍有倒 U 形曲线关系，且拟合效果更好（见图 5 和图 6）。

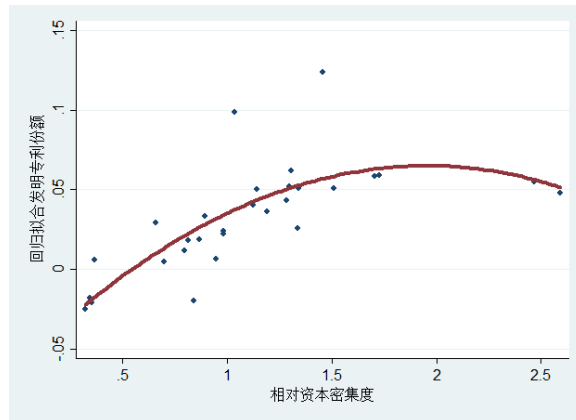


图 5 控制固定效应后 2002 年产业相对资本密集度和发明专利申请数份额

^⑨对发明专利申请数份额用相对资本密集度的一次项、二次项回归，控制固定效应，得到拟合值和残差。将拟合值和残差相加，得到控制固定效应后的发明专利申请数份额。

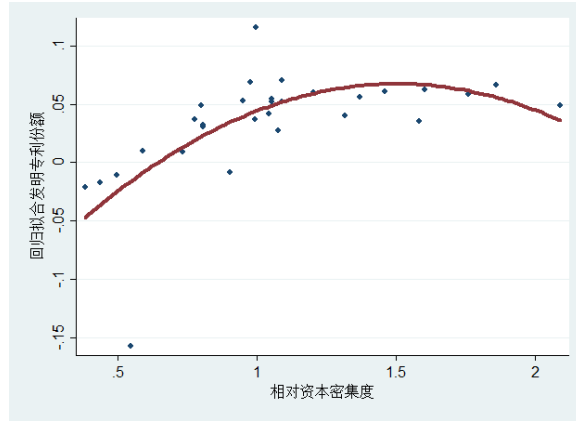


图 6 控制固定效应后 2013 年产业相对资本密集度和发明专利申请数份额

与技术引进吸收更为相关的是实用新型专利，实用新型专利申请数份额与产业的相对资本密集度之间也存在倒 U 形曲线关系（如图 7 和图 8）。

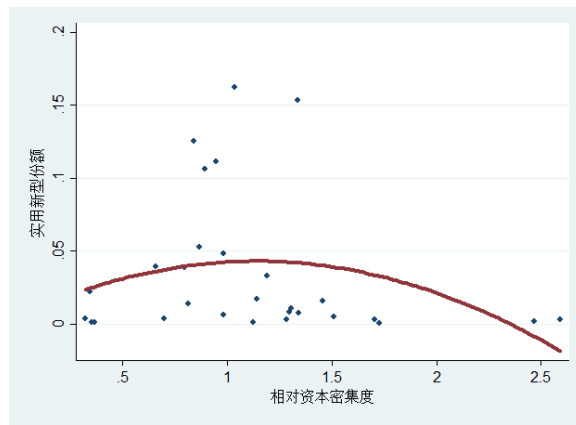


图 7 2002 年产业相对资本密集度和实用新型专利申请数份额

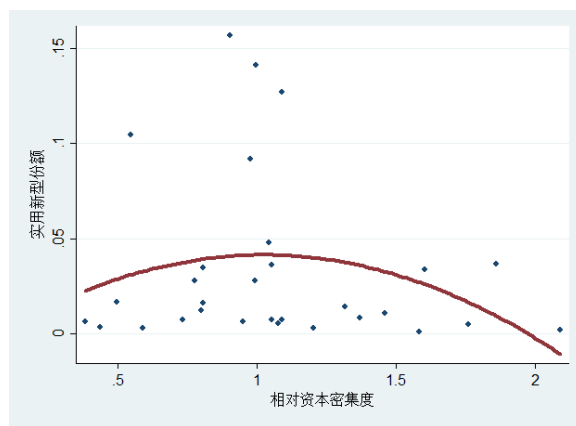


图 8 2013 年产业相对资本密集度和实用新型专利申请数份额

此外，我们还发现，“计算机、通信和其他电子设备制造业”的资本密集度的相对偏离度^⑩随时间先减小后增大，而发明专利申请数份额则先上升后下降，呈现倒 U 形曲线动态发展趋势（见图 9）。

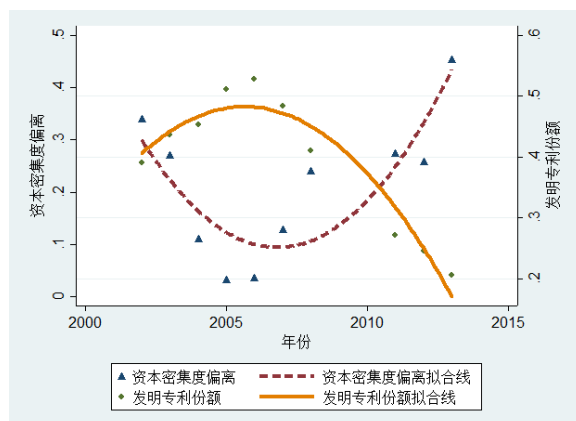


图 9 计算机、通信和其他电子设备制造业

“专用设备制造业”的资本密集度的相对偏离度随时间单调下降，而发明专利申请数份额随时间持续上升，经历了倒 U 形曲线中的上升阶段（见图 10）。

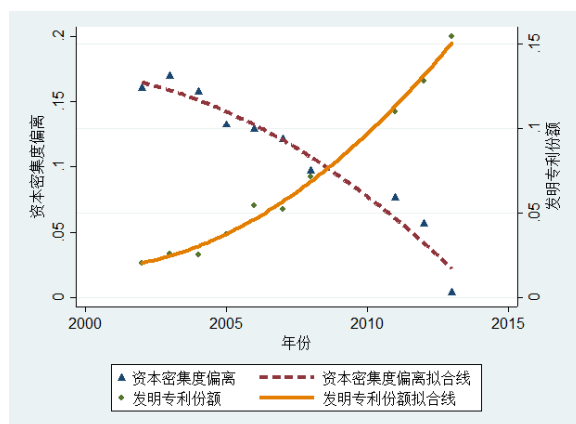


图 10 专用设备制造业

与前两个产业不同，“电器机械和器材制造业”的资本密集度的相对偏离度随着时间先增大后减小，而发明专利申请数份额则先下降后上升（见图 11）。从这三个具体产业可以看出，当产业资本密集度和禀赋结构越接近，该产业的发明专利申请数份额就越大。

^⑩参考 Ju et al. (2015) 中实证部分的设定，子产业 i 在 t 年的产业的资本密集度（即产业的资本劳动比）记作 k_{it} ，经济体在 t 年的禀赋结构（即经济体的资本劳动比）记作 K_t ，相对偏离 $Dev = \frac{|k_{it} - K_t|}{K_t}$ 。

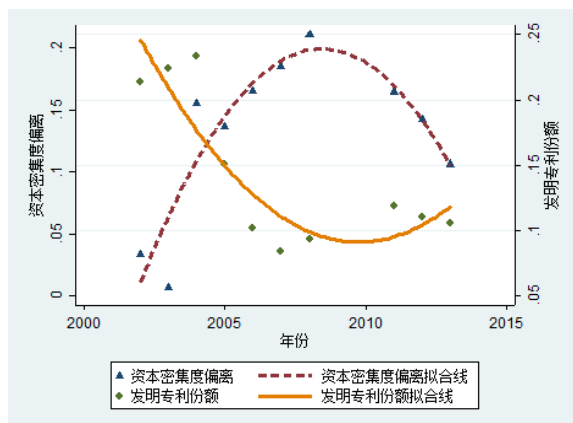


图 11 电器机械和器材制造业

为了分析我国不同省份的产业技术的差异,我们首先可以考察不同省份在各子产业上与国内技术前沿之间的距离。给定一个子产业,我们用该产业上劳动生产率最高的省份作为该产业的国内前沿水平,它与一个省在该产业上的劳动生产率的比值就是该省在这个产业与国内技术前沿的距离。以湖北省为例,图 12 和图 13 分别显示了 2002 年和 2013 年该省在各个制造业二位码子产业上的相对资本密集度与各子产业同全国技术前沿的距离之间的关系,用二次曲线拟合呈 U 形。

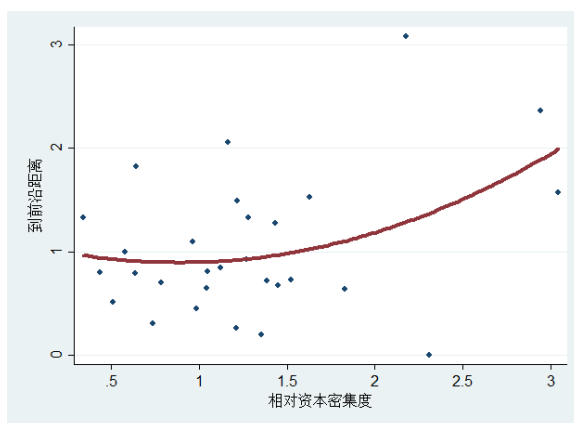


图 12 湖北省 2002 年产业的相对资本密集度和离国内前沿技术差距

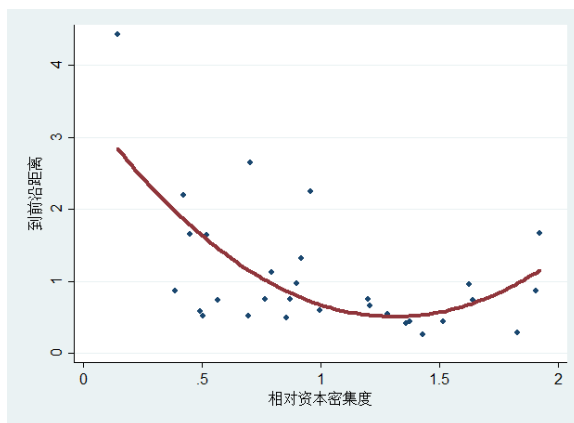


图 13 湖北省 2013 年产业的相对资本密集度和离国内前沿技术差距

(二) 中国专利定量事实

基于第一节的探讨，本节进一步控制相关变量进行回归分析，发现如下定量事实：(1) 产业的增加值份额、利润份额和相对资本密集度均呈倒 U 形曲线关系；(2) 产业的增加值份额、利润份额均和发明专利申请数份额正相关；(3) 发明专利申请数份额和相对资本密集度呈倒 U 形曲线关系，且和离前沿技术差距负相关。

首先，我们将增加值份额和利润份额分别对相对资本密集度进行回归，计量模型如(1)式：

$$y_{pit} = \alpha_0 + \alpha_1 k_{pit}^2 + \alpha_2 k_{pit} + \alpha_3 X_{pit} + D_p + D_i + D_t + u_{it} \quad (1)$$

其中，被解释变量 y_{pit} 代表省份 p 产业 i 在 t 年的利润份额或增加值份额，解释变量 k_{pit} ^①、 k_{pit}^2 分别表示省份 p 产业 i 在 t 年相对资本密集度的一次项和二次项。 X_{pit} 代表省份 p 产业 i 在 t 年的控制变量，包括产业内政府补贴占销售收入的比，出口交货值占工业销售产值的比和国企产值占产业总产值的比。在以下的回归中均控制了省份(D_p)、年份(D_t)和产业(D_i)的固定效应。

表 1 汇报产业绩效(增加值份额、利润份额)对于相对资本密集度的回归结果。其中(1) - (2) 列的结果表明相对资本密集度的二次项系数显著小于 0，一次项系数显著大于 0，这说明中国的产业存在增加值份额和资本密集度的倒 U 形曲线关系。加入控制变量，该结果依然显著。(3) - (4) 列显示利润份额和相对资本密集度之间也存在显著的倒 U 形曲线关系。

表 1 产业绩效和相对资本密集度

	(1)	(2)	(3)	(4)
	增加值份额	增加值份额	利润份额	利润份额
相对资本密集度	0.087*** (0.010)	0.089*** (0.010)	0.083*** (0.013)	0.084*** (0.014)
(相对资本密集度) ²	-0.049*** (0.005)	-0.048*** (0.005)	-0.044*** (0.007)	-0.043*** (0.007)
产业控制变量	不控制	控制	不控制	控制
常数	0.011*** (0.003)	0.010** (0.005)	0.008** (0.004)	0.012* (0.007)
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
省份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	8,832	8,832	8,831	8,831
调整 R ²	0.294	0.303	0.127	0.129

注：括号内为稳健标准差，*** p<0.01，** p<0.05，* p<0.1，增加值份额、利润份额和相对资本密集度均做 ln(x+1)处理，以减小过大极端值的影响。

其次，我们将发明专利申请数份额分别对增加值份额和利润份额进行回归，计量模型如(2)式：

^①相对资本密集度 $k_{pit} = \frac{K_{pit}/L_{pit}}{K_{pt}/L_{pt}}$ ， K_{pit} 和 L_{pit} 分别代表省份 p 产业 i 在 t 年的资本存量和劳动力人数， K_{pt} 和 L_{pt} 代表省份 p 在 t 年的制造业总资本存量和总劳动力人数。

$$Patent_{pit} = \alpha_0 + \alpha_1 y_{pit} + \alpha_2 X_{pit} + D_p + D_i + D_t + u_{it} \quad (2)$$

其中，被解释变量 $Patent_{pit}$ 是省份 p 产业 i 在 t 年的发明专利申请数份额。表2汇报发明专利申请数份额分别对增加值份额、利润总额的回归结果。第(1)、(3)列分别直接使用省份 p 产业 i 在 t 年的发明专利申请数份额对增加值份额、利润份额进行回归，均控制了省份、年份和产业的固定效应。增加值份额和利润份额的系数均显著为正，说明产业的相对绩效与专利申请数份额之间呈显著的正相关关系。第(2)、(4)列的解释变量加入和回归1相同的控制变量，增加值份额和利润份额的系数仍显著为正。

表2 发明专利申请数份额与产业绩效

	(1)	(2)	(3)	(4)
	发明专利申请数 份额	发明专利申请数 份额	发明专利申请数份 额	发明专利申请数 份额
增加值份额	11.825*** (0.462)	11.598*** (0.460)		
利润份额			4.301*** (0.761)	4.209*** (0.748)
产业控制变量	不控制	控制	不控制	控制
常数	1.508*** (0.018)	1.451*** (0.086)	1.763*** (0.028)	1.720*** (0.086)
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
省份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	8,764	8,764	8,763	8,763
调整 R^2	0.574	0.576	0.531	0.535

注：括号内为稳健标准差，*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ ，增加值份额、利润份额和发明专利申请数份额均做 $\ln(x+1)$ 处理，减小过大极端值的影响。

再次，我们将发明专利申请数份额对相对资本密集度和离国内前沿技术差距进行回归，计量模型如(3)式：

$$Patent_{pit} = \alpha_0 + \alpha_1 k_{pit}^2 + \alpha_2 k_{pit} + \alpha_3 X_{pit} + distance_{pit} + D_p + D_i + D_t + u_{it} \quad (3)$$

考虑研发中存在的外溢效应，我们使用产业劳动生产率（产业的增加值/劳动力）和国内前沿的劳动生产率之间的差距衡量技术外溢的空间。将省份 p 产业 i 在 t 年的劳动生产率记作 y_{pit} ，产业 i 在 t 年的国内技术前沿劳动生产率记作 \bar{y}_{it} ，技术差距定义为 $distance_{pit} = \ln(\bar{y}_{it}/y_{pit})$ 。各省离世界前沿的技术差距等于离国内前沿的技术差距加上国内前沿离世界前沿的技术差距。国内前沿离世界前沿的技术差距由于对各省都相同，所以技术外溢空间使用产业技术离国内前沿的技术差距衡量即可。回归均控制了省份、年份和产业的固定效应。

表3汇报了发明专利申请数份额相对于相对资本密集度和离国内前沿技术差距的回归结果。第(1)列显示产业相对资本密集度的二次项系数显著为负，一次项系数显著大于0，说明倒U形曲线存在；到国内前沿技术的差距系数显著小于0，说明离前沿技术差距越大，外溢效应越明显，自己越不需要自主研发。第(2)列增加了和回归1相同的控制变量，结论依然存在。考虑到发明专利的研发周期较长，企业看到当期资本密集度后开始从事研发到专利的申请之间可能存在一定的时滞，因此第(3)列和第(4)列解释变量的分别是第(1)

列和第(2)列的一阶滞后项，得到结果十分稳健。根据二次函数对称轴计算公式 $k^{max} = -\frac{\alpha_2}{2\alpha_1}$ ，

发明专利申请数份额极值点大约取在 $k = 1$ 处，说明资本密集度越接近制造业资本劳动比的产业发明专利申请数份额越多。

此外，将产业离国内前沿的技术差距对于相对资本密集度及其二次项做回归，得到如下结果：

$$distance_{pit} = 1.850 + 0.261k_{pit}^2 - 1.276k_{pit} + D_p + D_i + D_t + u_{it}$$

离国内前沿技术差距与相对资本密集度之间存在正 U 形关系，对此的一个可能解释是，劳动过于密集或者资本过于密集的产业，因为不符合当地禀赋比较优势，所以当中的企业也不具备自生能力，因此在给定技术条件下的劳动生产率比较低，离该产业技术前沿地区的差距较大。反之，与自己禀赋结构越是一致的产业则越符合该地的比较优势，因此拥有较高的劳动生产率，离前沿就越近。

表 3 发明专利申请数份额和相对资本密集度、技术差距

	(1)	(2)	(3)	(4)
	发明专利申请 数份额	发明专利申请 数份额	发明专利申 请数份额	发明专利申 请数份额
相对资本密集度	2.091*** (0.268)	2.118*** (0.270)		
(相对资本密集度) ²	-1.119*** (0.132)	-1.097*** (0.132)		
离前沿技术差距	-0.221*** (0.020)	-0.226*** (0.020)		
滞后一期相对资本密集度			2.146*** (0.298)	2.162*** (0.300)
(滞后一期相对资本密集度) ²			-1.157*** (0.147)	-1.135*** (0.148)
滞后一期离前沿技术差距			-0.192*** (0.023)	-0.195*** (0.023)
产业控制变量	不控制	控制	不控制	控制
常数项	1.578*** (0.093)	1.574*** (0.124)	1.559*** (0.104)	1.599*** (0.162)
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
省份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	8,764	8,764	7,005	7,005
调整 R ²	0.514	0.520	0.520	0.525

注：括号内为稳健标准差，*** p<0.01，** p<0.05，* p<0.1，发明专利申请数份额和相对资本密集度均做 $\ln(x+1)$ 处理，减小过大极端值的影响。

以上回归结果有可能受到产业划分的规模的影响，比如若某产业的划分标准较广泛，包含了较多子类，即使该产业不符合要素禀赋比较优势，也可能因为涵盖范围大，企业数目多，从而拥有较多的专利。为此，我们进行了一个稳健性检验。将产业的发明专利申请数用企业数进行平均，再使用平均后的发明专利申请数计算份额作为被解释变量，其余解释变量和表 3 相同。表 4 汇报了回归结果。企业平均的发明专利申请数份额仍然和相对资本密集度存在倒 U 形曲线关系，且和离国内前沿技术差距呈负相关，说明我们之前发现的定量事实是稳健

的。

表 4 企业平均的发明专利申请数份额和相对资本密集度、技术差距

	(1)	(2)	(3)	(4)
	发明专利申请数 份额	发明专利申 请数份额	发明专利申 请数份额	发明专利申 请数份额
相对资本密集度	1.917*** (0.346)	1.922*** (0.347)		
(相对资本密集度) ²	-0.914*** (0.173)	-0.897*** (0.173)		
离前沿技术差距	-0.146*** (0.026)	-0.150*** (0.027)		
滞后一期相对资本密集度			1.816*** (0.389)	1.810*** (0.391)
(滞后一期相对资本密集度) ²			-0.851*** (0.194)	-0.834*** (0.194)
滞后一期离前沿技术差距			-0.102*** (0.030)	-0.105*** (0.030)
产业控制变量	不控制	控制	不控制	控制
常数项	1.459*** (0.121)	1.500*** (0.157)	1.441*** (0.136)	1.478*** (0.200)
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
省份固定效应	控制	控制	控制	控制
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	8,764	8,764	7,005	7,005
调整 R ²	0.426	0.428	0.430	0.431

注：括号内为稳健标准差，*** p<0.01，** p<0.05，* p<0.1，发明专利申请数份额和相对资本密集度均做 ln(x+1) 处理，以减小过大极端值的影响。

(三) 发达国家定量事实

专利是研发的结果，我们同样关心研发的投入。为了避免使用中国数据分析时可能存在遗漏关于政策扭曲变量等问题，这部分我们使用跨国数据中的产业信息进行回归。研发支出数据来自 OECD 统计数据库，资本存量、劳动力和增加值来自 WIOD 数据库，产业按照 ISIC Rev.4 的二位码划分，包含了 33 个国家^⑫从 2005 年 2014 年的信息，样本中主要是发达国家。我们将产业的研发支出份额对相对资本密集度和离世界前沿技术差距进行回归，计量模型如 (4) 式：

$$rd_{cit} = \alpha_0 + \alpha_1 k_{cit}^2 + \alpha_2 k_{cit} + \alpha_3 distance_{cit} + D_c + D_i + D_t + u_{it} \quad (4)$$

被解释变量 rd_{cit} 是 c 国 i 产业在 t 年占本国研发支出的份额； $distance_{cit}$ 是 c 国 i 产业在 t 年离世界前沿技术的差距，定义与上节相同。回归中控制了国家、产业和时间固定效应。

表 5 汇报了回归结果。第 (1) 列显示研发支出份额和相对资本密集度存在倒 U 形曲线关系。第 (2) 列加入技术差距，其系数为负，说明技术和前沿差距越大，研发支出就越少。

^⑫ 这 33 个国家包括：澳大利亚、奥地利、比利时、加拿大、瑞士、中国、捷克、德国、冰岛、西班牙、爱沙尼亚、芬兰、法国、英国、希腊、匈牙利、爱尔兰、意大利、日本、韩国、卢森堡、拉脱维亚、墨西哥、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、瑞典、土耳其和美国。

第（3）、（4）列使用滞后一期的解释变量，仍然得到相同的结果。

表 5 跨国研发支出和相对资本密集度、技术差距

	(1)	(2)	(3)	(4)
	研发支出份额	研发支出份额	研发支出份额	研发支出份额
相对资本密集度	0.132*** (0.036)	0.102*** (0.037)		
(相对资本密集度) ²	-0.043** (0.018)	-0.034* (0.019)		
离世界前沿技术差距		-0.019*** (0.003)		
滞后一期相对资本密集度			0.161*** (0.043)	0.126*** (0.045)
(滞后一期相对资本密集度) ²			-0.056** (0.022)	-0.045** (0.023)
滞后一期离世界前沿技术差距				-0.019*** (0.004)
常数	0.006 (0.011)	0.041*** (0.013)	-0.005 (0.013)	0.033** (0.015)
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
产业固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	3,043	3,043	2,489	2,489
调整 R ²	0.441	0.446	0.431	0.436

注：括号内为稳健标准差，*** p<0.01，** p<0.05，* p<0.1，研发支出份额和相对资本密集度均做 ln(x+1) 处理，减小过大极端值的影响。

综上，我们得到了三个关于制造业创新与禀赋结构的非常稳健的定量特征事实：（1）产业的增加值份额与利润份额均和该产业的相对资本密集度呈倒 U 形曲线关系；（2）产业的发明专利申请数份额和增加值份额与利润份额均呈正相关关系；（3）产业的发明专利申请数份额与离前沿技术差距呈负相关，与相对资本密集度呈倒 U 形曲线关系。

三、基本模型

在这一部分，我们构建了一个连续时间动态模型解释第二部分发现的三个特征事实，并且阐述一个经济体的要素禀赋结构如何驱动产业研发创新的理论机制。我们首先求解给定经济体在某个时刻的禀赋结构，在资本密集度上存在异质性的产业的市场均衡，然后求解产业在动态上的研发支出和技术进步路径。

（一）模型设定

1. 经济环境

考虑一个无限时域的连续时间的经济体中有测度为 1 的同质家户，每个家户拥有固定不变的 L 单位劳动力和随时间变化的 K(t) 单位资本。在给定时刻 t，经济体中存在如下商品：投资品 X(t)，由一个投资品部门生产；测度为 1 的连续统的消费品 $\{C_i(t)\}_{i=0}^1$ ($i \in [0,1]$)，每种消费品对应一个不同的产业（产业的序号与所对应的消费品序号相同），由完全竞争的厂

商生产；生产消费品 C_i 需要 A_i 单位连续统种类的中间品 $\{z_{ij}(t)\}_{j=0}^{A_i}$ ，每种中间品都有专利，由一个厂商生产，市场结构为垄断竞争，其中 A_i 的大小由研发部门内生决定。

2. 偏好

代表性家户的效用函数为

$$U = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln C(t) dt$$

其中 ρ 为主观贴现率， $C(t)$ 是 t 时刻的总消费，由测度为 1 的连续统的差异化了的消费品 $\{C_i(t)\}_{i=0}^1$ 进行 CES 加总得到：

$$C(t) = \left(\int_0^1 C_i(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (5)$$

不同种类消费品之间的替代弹性 $\sigma > 1$ 。

3. 技术

在时刻 t ，产业 i 需要测度为 $A_i(t)$ 的中间品，具体的生产函数如下：

$$C_i(t) = A_i(t)^{\frac{\epsilon-2}{\epsilon-1}} \left(\int_0^{A_i(t)} z_{ij}(t)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} dj \right)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}}, \epsilon > 1 \quad (6)$$

其中，中间品 $\{z_{ij}\}_{j=0}^{A_i}$ 通过 CES 加总后生成消费品 C_i ，替代弹性为 ϵ ，如（6）式所示。每一类产业的市场结构为完全竞争。

对于产业 i 所需要的每个中间品 z_{ij} ， $j \in [0, A_i]$ ，其生产函数均为相同的柯布-道格拉斯形式，如下所示^③：

$$z_{ij}(t) = \frac{1}{i^{i(1-i)^{1-i}}} k_{ij}(t)^i l_{ij}(t)^{1-i}, i \in (0,1) \quad (7)$$

$$z_{0j}(t) = l_{0j}(t), z_{1j} = k_{1j}(t)$$

其中， k_{ij} 和 l_{ij} 分别代表生产 z_{ij} 所需的资本和劳动力，资本收入份额为 i ，可见 i 越高的中间品越资本密集。每一种中间品 z_{ij} 均由一家不同的企业垄断生产，企业之间垄断竞争。根据（6）式，不同中间品 z_{ij} 是对称的，因此可以得到：

$$C_i(t) = A_i(t) Z_i(t)$$

其中 $Z_i(t) = A_i(t) z_{ij}(t)$ 。上式推出中间品种类数量对消费品产出的外部性为 A_i 。

投资品 X 的生产采用 AK 的技术，需要投入资本。每 1 单位资本可以得到 A_x 单位投资品，生产率为 A_x 固定不变，如（8）式：

$$X(t) = A_x K_x(t) \quad (8)$$

投资品作为计价物，价格标准化为 1，市场结构为完全竞争。投资品可以用作资本积累和研发支出。

技术进步方式为水平创新，即每个产业 i 的中间品的种类 A_i 增加。创新由研发部门实现。中间品厂商为了获得生产垄断权，需要付出全部的垄断利润向研发部门购买专利。我们设定家户为研发部门付出了进入成本，获得新产品专利的所有权，因而中间品利润全部归家户所有。研发部门可自由进出，均衡时利润为 0。研发的投入和产出如（9）式所示，研发部门投入 1 单位的投资品则确定性地增加测度为 1 的新的中间品的种类。每一时刻自主研发出来的新的中间品都具有一个专利，因此新专利申请数和研发支出单位数量相等。

$$\dot{A}_i(t) = X_i(t) \quad (9)$$

资本积累的动态方程如（10）式所示，投资品中扣除研发支出后的部分作为下一期新增的资本，用以研发的资本折旧率为 100%，而用以生产中间品和资本品的所使用的资本的折

^③为了避免出现 0^0 ，我们额外定义了产业 0 和产业 1 的中间品生产函数。

旧率为 0。

$$\dot{K}(t) = A_x K_x(t) - \int_0^1 X_i(t) di \quad (10)$$

每个时刻经济体的市场出清条件如 (11a) - (11d) 所示：(1) 总资本被用作生产投资品 K_x 和消费品 K_c ，其中 K_c 被分配给每一个产业的中间品生产厂商；(2) 劳动力全部被用来生产中间品。

$$K(t) = K_x(t) + K_c(t) = K_x(t) + \int_0^1 K_i(t) di \quad (11a)$$

$$K_i(t) = \int_0^{A_i(t)} k_{ij}(t) dj \quad (11b)$$

$$L(t) = \int_0^1 L_i(t) di \quad (11c)$$

$$L_i(t) = \int_0^{A_i(t)} l_{ij}(t) dj \quad (11d)$$

(二) 给定时刻的市场均衡

基于上一节设定，给定生产消费品的资本和劳动力总量，我们可以求解一个给定时刻上的市场均衡：给定资本利率 r 和劳动力工资 w ，满足(1)中间品厂商 (z_{ij})、消费品厂商 (C_i)、投资品厂商 (X) 和研发部门 (\dot{A}_i) 最大化利润；(2) 资本和劳动力市场出清。

由投资品生产函数 (8) 式和市场完全竞争，我们得到资本的价格 $r = A_x$ 恒定不变。由此自然得到一个 Kongsamut et al. (2001) 中的拓展平衡增长路径 (Generalized balanced growth path)，在这条路径上资本价格不变。

我们用 r 和 w 分别表示资本的租赁价格和劳动力的工资， p_{ij} 表示中间品 z_{ij} 的价格， p_i 表示消费品 C_i 的价格。由于中间品 z_{ij} 的对称性，结合 (7)，(6) 式与对应的市场结构，我们得到中间品的价格和利润：

$$p_{ij}(t) = \frac{\epsilon}{\epsilon-1} r^i w(t)^{1-i}, \text{ 对于任意 } j \in [0, A_i(t)]$$

$$\pi_{ij}(t) = \frac{1}{\epsilon} p_{ij}(t) z_{ij}(t)$$

进一步推出中间品的专利价值，即从研发成功时刻到无穷时刻利润流的贴现值：

$$v_{ij}(t) = \int_t^{+\infty} e^{-r(\tau-t)} \pi_{ij}(\tau) d\tau, \text{ 对于任意 } j \in [A_i(t), A_i(t) + X_i(t)]$$

以及消费品 C_i 的价格：

$$p_i(t) = A_i(t)^{-\frac{\epsilon-2}{\epsilon-1}} \left(\int_0^{A_i(t)} p_{ij}(t)^{1-\epsilon} \right)^{\frac{1}{1-\epsilon}} = \frac{\epsilon}{\epsilon-1} \frac{r^i w(t)^{1-i}}{A_i(t)}$$

为方便起见，记 $\frac{r}{w} = \theta$ 。我们通过 (5) 式求解家户最大化效用的一阶条件，结合之前 $p_i(t)$ 的表达式，得到消费品 C_i 和 C_0 在数量和价格上满足 (12) 式的关系。

$$\frac{C_i(t)}{C_0(t)} = \left(\frac{p_i(t)}{p_0(t)} \right)^{-\sigma} = \theta^{-i\sigma} \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^{\sigma} \quad (12)$$

进一步，使用 Shepard 引理，结合 (12) 式，我们可以将产业 i 所使用资本 K_i 和劳动 L_i 的数量表达为 θ 和 C_0 的函数，分别为 (13a) 和 (13b) 式。

$$K_i(t) = [ir^i w(t)^{1-i}/r] C_i(t) = i\theta^{(1-\sigma)i-1} \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^{\sigma} C_0(t) \quad (13a)$$

$$L_i(t) = [(1-i)r^i w(t)^{1-i}/w(t)] C_i(t) = (1-i)\theta^{(1-\sigma)i} \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^{\sigma} C_0(t) \quad (13b)$$

结合 (13a)、(13b) 式和市场出清条件 (11a) - (11d) 式, 我们得到经济体投入于消费品生产的资本劳动比与要素相对价格 θ 的关系, 如 (14) 式:

$$\frac{K_C(t)}{L(t)} = \frac{\int_0^1 i \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)}\right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i-1} di}{\int_0^1 (1-i) \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)}\right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i} di} \quad (14)$$

当 $\sigma \in (1,2]$ 时, 我们可以得到 $\frac{K_C(t)}{L(t)}$ 越大, 则 θ 越小。

证明: 见附录 A.1。

农户在每个产业 i 上的支出份额^⑭, 如 (15) 式, 并得到引理 1。

$$s_i = \frac{p_i c_i}{\int_0^1 p_j c_j dj} = \frac{\left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)}\right)^{\sigma-1} \theta^{i(1-\sigma)}}{\int_0^1 \left(\frac{A_j(t)}{A_0(t)}\right)^{\sigma-1} \theta^{j(1-\sigma)} dj} \quad (15)$$

由于每个产业使用的中间品都是差异化的, 所以农户在每个产业 i 上的支出就是消费品 C_i 所有生产过程中增加值的和, 即产业 i 的支出份额等价于增加值在所有制造业产业中的份额。

引理 1 (增加值份额与经济体禀赋结构): (1) 对于 $i \in (0,1)$, 产业 i 的增加值份额 s_i 与禀赋结构 $\frac{K_C(t)}{L(t)}$ 呈现倒 U 形曲线关系, 且资本越密集的产业到达倒 U 形曲线的顶点越晚; (2) 产业 0 的增加值份额 s_0 持续下降; (3) 产业 1 的增加值份额 s_1 持续上升。

证明: 见附录 A.2。

引理 1 和表 1 中增加值份额和相对资本密集度呈倒 U 形曲线关系的定量事实一致, 经济学直觉解释如下: 如果产业的资本密集度接近经济体禀赋结构, 能够避免使用过多昂贵要素, 产生更多的增加值。随着经济体资本不断积累, 禀赋结构不断上升, 资本相对劳动力越来越便宜。对于任何产业 $i \in (0,1)$, 该经济体的资本劳动比 (禀赋结构) 会先追上再超过该产业的资本密集度, 所以产业 i 将经历先逐渐符合再逐渐失去比较优势的过程, 使得增加值份额先上升后下降, 呈现为倒 U 形曲线。产业的资本密集度越高, 被禀赋结构追上的时间越晚, 所以到达倒 U 形曲线的顶点越晚。产业 0 的中间品生产只使用劳动力, 所以随着资本积累, 资本密集度越来越远离禀赋结构, 逐渐偏离比较优势, 所以增加值份额逐渐下降; 产业 1 的中间品生产只使用资本, 资本密集度越来越接近禀赋结构, 逐渐符合比较优势, 所以增加值份额逐渐上升。综上, 我们得到了给定资本密集度的各产品增加值份额与经济体禀赋结构呈倒 U 形曲线关系。

(三) 动态均衡

结合上一节得到的每个时刻的市场均衡, 我们求解农户决策的动态优化问题。给定每期预算约束, 最大化农户的总贴现效用, 如 (16) 式:

$$\max_{\{C_i(t)\}_{i=0}^1, \{K(t)\}, \{A_i(t)\}_{i=0}^1} U = \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln \left(\int_0^1 C_i(t) \frac{\sigma-1}{\sigma} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} dt, \sigma > 1$$

$$s. t. \int_0^1 p_i(t) C_i(t) di + \dot{K}(t) + \int_0^1 \dot{A}_i(t) di = rK(t) + w(t)L + \int_0^1 \pi_{ij}(t) A_i(t) di \quad (16)$$

其中 $\pi_{ij}(t)$ 是产业 i 所使用中间品 z_{ij} 在 t 时刻的垄断利润。预算约束的等式左侧是农户在 t 时刻消费、物质资本投资、技术创新投资三项之和; 等式右侧是农户在 t 时刻的总收入, 即资本收入、劳动力工资收入、中间品利润三项之和。求解得到总支出 E 的增长率为一个常数 $A_x - \rho$, 如 (17) 式。每个中间品利润, 即研发部门收入均为 A_x , 显然自由进入条件满足。

^⑭ 由于产品连续分布, 每个产品的权重显然是 0。此处的 s_i 是将权重调整为 1 之后的支出份额。

$$\frac{\dot{E}}{E} = A_x - \rho = \pi_{ij} - \rho \quad (17)$$

$$E = \int_0^1 p_i(t) C_i(t) di$$

进一步，我们求解得到各个产业的技术 A_i 、资本 K_i 和生产产品资本 K_c 的变化率 $\frac{dK_c(t)}{dt}$ ：

$$\pi_i(t) = \int_0^{A_i(t)} \pi_{ij}(t) dj = \frac{1}{\epsilon} E_i(t)$$

$$A_i(t) = \frac{1}{\epsilon A_x} E_i(t)$$

$$K_i(t) = \frac{\epsilon-1}{\epsilon A_x} i E_i(t)$$

$$\frac{dK_c(t)}{dt} = \frac{A_x - \rho}{\frac{1}{K_c} \int_0^1 i s_i'(\theta) di \theta'(K_c) \int_0^1 i s_i(t) di}$$

最后，我们得到产业 i 上研发支出数量 X_i 和份额 x_i ，分别如(18)(19)式：

$$X_i(t) = \frac{A_i(t)}{A_i(t)} A_i(t) = \frac{1}{\epsilon A_x} E_i(t) \left(\frac{\dot{s}_i(t)}{s_i(t)} + A_x - \rho \right) \quad (18)$$

$$x_i(t) = \frac{X_i(t)}{\int_0^1 X_i(t) di} = \frac{1}{A_x - \rho} s_i(t) \left(\frac{\dot{s}_i(t)}{s_i(t)} + A_x - \rho \right) \quad (19)$$

我们需要假设 A_x 足够大，保证 X_i 和 x_i 大于0。根据(19)式，我们得到本文最重要的结论如下。

命题1 (研发支出份额的发展路径)：随着资本不断积累，(1) 对于 $i \in (0,1)$ ，产业 i 的研发支出份额 x_i 呈现倒U形曲线的发展路径，且资本越密集的产业到达倒U形曲线的顶点越慢；(2) 产业0的研发支出份额 x_0 持续下降；(3) 产业1的研发支出份额 x_1 持续上升。

证明：见附录A.3。

根据发明专利申请和研发支出单位数量相等这一设定，发明专利申请份额的发展路径也如命题1。命题1和表3、表4、表5中发明专利申请份额与研发支出份额都和相对资本密集度呈倒U形曲线关系的定量事实对应，经济学直觉解释如下：根据引理1，对于 $i \in (0,1)$ ，当产业 i 的资本密集度越接近制造业总的资本劳动比时，该产业的产出越大，从而中间投入品的总利润越大，研发这些新的中间投入品将越有利可图，因此在该产业上的研发支出和发明专利申请越多。如果该产业的资本密集度越是偏离制造业总的资本劳动比，则在该产业上的研发的激励就越弱，因此体现为研发支出和发明专利申请份额和相对资本密集度都呈倒U形曲线关系。产业0由于只使用劳动力生产，所以随着资本的积累，越来越失去比较优势，因此研发激励不断减弱；而产业1则越来越符合比较优势，所以研发激励逐渐增强。如果 A_x 足够大，能够忽略掉(18)(19)式括号内 s_i 变化的影响，可以得到 $x_i = s_i$ ， $X_i(t) = \frac{A_x - \rho}{\epsilon A_x} E_i(t)$ ，

那么 x_i 的性质类似引理1。

我们根据命题1做了一个数值模拟展示。根据模型对参数取值范围的设定，数值模拟对各参数的赋值如表6所示。对所有产业进行数值模拟后，我们从中取产业0.4和产业0.6对结果进行说明。

表6 模型参数设定

参数	数值
----	----

ρ	0.2
σ	1.5
ϵ	1.5
A_x	3

如图 14 所示（横轴是时间，纵轴是产品的研发支出份额），产业 0.4 和产业 0.6 研发支出份额随时间呈现倒 U 形曲线的发展路径，且后者达到顶点的时间更晚。这是由于：（1）产业 0.4 的资本密集度较低，于是当经济体资本劳动比较低时，产业 0.4 比产业 0.6 更符合比较优势，所以利润率更高，因此创新动机更强，研发投入更高，专利就更多；（2）随着资本进一步积累，产业 0.4 逐渐失去比较优势，而产业 0.6 开始逐渐更加符合比较优势，于是当资本劳动比较高时，资本密集度较高的产业 0.6 的创新动机更强，研发投入更高，更晚达到顶点。根据定量事实部分的（3）式，我们以产业 0.5 为例，如图 15 所示，数值模拟得到了研发支出份额和相对资本密集度之间的倒 U 形曲线关系，且研发支出份额的极大值点取在 $k=1$ 附近，与表 3 中倒 U 型曲线的对称轴在 1 附近的定量事实一致。

综上所述，我们的模型可以解释为什么各子产业在总制造业中的增加值份额与该产业的发明专利申请数份额（或研发支出份额）都随时间（资本的积累）呈倒 U 形曲线的时间路径。

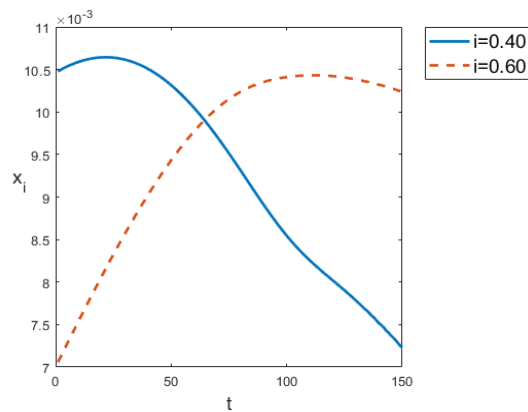


图 14 产业研发支出份额 x_i 发展路径

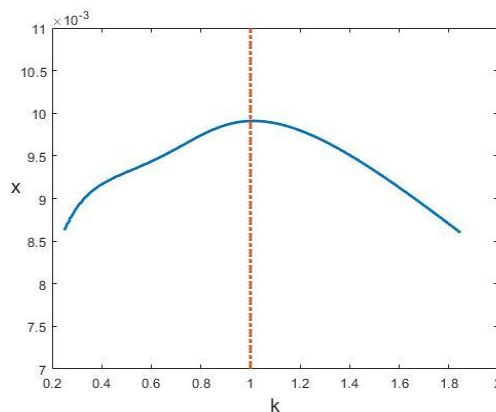


图 15 产业 0.5 的研发支出份额 x_i 和相对资本密集度 k 关系

四、技术扩散的拓展

在第三部分，所有技术进步都来源于自主创新。而在这一部分，我们在模型中引入产业离世界技术前沿水平的差距，考虑存在前沿技术扩散的条件下的各不同产业的技术进步与自主创新问题，这对于发展中国家尤为重要。在这一部分，我们将对“领先型”、“追赶型”和“转进型”三类产业的技术进步与研发行为放在统一的框架下进行分析。

记产业 C_i 的世界前沿技术为 $\bar{A}_i(t)$ ，当本国在该产业上处于技术落后的发展阶段时， $\bar{A}_i(t)$ 的技术进步率对于本国来说就是外生给定的。假设产业 i 在 t 时刻的技术进步率如(20)式所示，

$$\dot{A}_i(t) = X_i(t) + \alpha(\bar{A}_i(t) - A_i(t)) \quad (20)$$

其中 $X_i(t)$ 是本国的自主研发投入， $\bar{A}_i(t) - A_i(t)$ 是本国和世界前沿技术的差距，参数 α 为正。所以，如果差距越大，则通过前沿技术的免费扩散外溢的效用也越强。参数 α 越大则表示外溢强度越大。因此，本国的技术进步速度除了受到自主研发投入影响外，还存在来自世界技术前沿的外溢扩散效应。当 $\alpha = 0$ ，模型就退化到第三部分的基本设定。当存在技术外溢时，只有通过自主研发支出方式产生的新中间投入品才可以成为发明专利。

可见，此处的技术可认为是产业 i 的全要素生产率。显然，全要素生产率和劳动生产率正相关，和定量事实部分的回归对应^⑤。当国内技术达到世界前沿时，外溢停止，和第三部分设定相同。

结合第(20)式，家户决策的动态优化问题变为(21)式：

$$\begin{aligned} \max_{\{C_i(t)\}_{i=0}^1, \{K(t)\}, \{A_i(t)\}_{i=0}^1} U &= \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \ln \left(\int_0^1 C_i(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} dt, \sigma > 1 \\ s.t. \int_0^1 p_i(t) C_i(t) di + \dot{K}(t) + \int_0^1 [\dot{A}_i(t) - \alpha(\bar{A}_i(t) - A_i(t))] di &= rK(t) + w(t)L + \\ &\int_0^1 \pi_{ij}(t) A_i(t) di \end{aligned} \quad (21)$$

我们同样得到的一个固定的总支出增长率 $A_x - \rho$ 。与第三部分不同的是，中间品利润 π_{ij} 变为 $A_x + \alpha$ ，这是由于家户做研发决策同时要考虑自主研发对前沿技术的外溢效应产生的影响。此时意味着：

$$\frac{\dot{E}}{E} = A_x - \rho = \pi_{ij}(t) - \alpha - \rho$$

通过与第三部分类似的求解过程，我们得到产业 i 上研发支出的数量 X_i 和份额 x_i ，分别如(22)和(23)式所示。

$$\begin{aligned} X_i &= \dot{A}_i(t) - \alpha(\bar{A}_i(t) - A_i(t)) \\ &= \frac{1}{\epsilon A_x} E_i(t) \left(\frac{\dot{s}_i(t)}{s_i(t)} + A_x - \rho - \alpha \left(\frac{\bar{A}_i(t)}{A_i(t)} - 1 \right) \right) \end{aligned} \quad (22)$$

$$x_i(t) = \frac{X_i(t)}{\int_0^1 X_j(t) dj} = \frac{s_i(t) \left(\frac{\dot{s}_i(t)}{s_i(t)} + A_x - \rho - \alpha \left(\frac{\bar{A}_i(t)}{A_i(t)} - 1 \right) \right)}{A_x - \rho - \alpha \int_0^1 \left(\frac{\bar{A}_j(t)}{A_j(t)} - 1 \right) s_j(t) dj} \quad (23)$$

相比(18)和(19)式，(22)和(23)式加入了技术扩散的作用 $\alpha \left(\frac{\bar{A}_i(t)}{A_i(t)} - 1 \right)$ 。当 $\frac{\bar{A}_i(t)}{A_i(t)}$ 越

^⑤ 在本文第二部分的定量事实的分析中，之所以我们使用劳动生产率而不是全要素生产率来衡量距前沿技术水平的差距，一是因为前者的度量误差比后者小得多（特别是跨国/跨地区的资本存量的估计通常比较复杂）；二是因为在现实中对于给定相同产业，世界技术前沿国家的生产函数与发展中国家的生产函数的函数形式本身就可能不同（比如资本密集度不同），这时全要素生产率的单位是不同的，所以它们之间不可比，比值也就是无意义的，但是劳动生产率的单位总是可比的（更多讨论，可参见 Ju et al, 2015）。

大时， X_i 和 x_i 越小，即当产业离前沿技术的差距越大时，研发投入和发明专利申请都越少，和表 3 中发明专利申请份额和技术到前沿差距负相关的定量事实对应。

结合新结构经济学五大产业划分 (Lin, 2017)，在此模型中我们描述由要素投入结构是否接近禀赋结构和生产率是否接近世界前沿两个标准划分的“领先型”、“追赶型”和“转进型”三类产业^⑥的发展路径。中等收入国家大多数以利润最大化为目的的产业都可以被划入这三类产业，因此本文模型能够为研究中等收入国家产业创新研发和技术进步路径提供理论参考。

由于模型复杂，无法获得解析解，因此我们通过数值模拟来描述这三类产业的研发支出份额和技术进步发展路径。根据模型对参数取值范围的设定，数值模拟对各参数的赋值如表 7 所示。为使讨论更加集中，不失一般性，令所有的产业 i 的初始技术 $A_i(0)$ 全都为 1，并假设产业 0.59 的技术前沿初始值为 1.2，其余产品技术前沿初始值为 1；每个产品所面对的技术前沿增长率恒为 3%。对所有产业进行数值模拟后，我们从中取产业 0.4、产业 0.59 和产业 0.6 对结果进行说明。

表 7 模型参数设定

参数	数值
ρ	0.2
σ	1.5
ϵ	1.5
A_x	3
$A_i(0)$	1
$\bar{A}_i(0), i \in [0,1] \setminus \{0.59\}$	1
$\bar{A}_{0.59}(0)$	1.2
$\frac{\dot{\bar{A}}_i}{\bar{A}_i}$	3%

如此设定的目的在于：（1）根据 Lin (2017)，失去比较优势的转进型产业相比领先型和追赶型产业更加劳动密集，在模型中体现为资本收入份额 i 较小，故在模拟的时间段内令以上所选三个产业中 i 最小的产业 0.4 代表转进型产业；（2）领先型和追赶型产业同时符合比较优势，在模型中体现为有相近的资本密集度，所以选取 i 差距仅为 0.01 相邻的产业 0.59 和产业 0.6 代表这两类；（3）追赶型相比于领先型产业到技术前沿的距离更远，由于产业 0.59 在起始时刻的技术前沿水平大于产业 0.6，所以产业 0.59 代表追赶型产业，产业 0.6 代表领先型产业。

如图 16 所示（横轴是时间，纵轴是产品的研发支出份额），在模拟的时间段内对这三个产业而言：（1）最为劳动密集的产业 0.4 由于经济体资本劳动比逐渐增大而失去比较优势，研发支出份额随资本积累逐渐下降；（2）较为资本密集的产业 0.59 和最为资本密集的产业 0.6 在逐渐符合比较优势的过程中，分别属于追赶型和领先型产业，研发支出份额逐渐增加；（3）由于产业 0.59 比产业 0.6 更能从前沿得到技术外溢，因此前者的研发支出份额小于后者；（4）随着资本进一步积累，这两个产业最终失去比较优势，成为转进型产业，研发支出

^⑥ 另外两种产业是换道超车型和战略型。其中，换道超车型产业的主要特点是研发周期短，技术和资本都比较密集，需要大量人力资本投入，规模报酬递增，比如我国的通讯产业的软件，智能手机等产业。战略型产业关乎国防安全或者经济安全，不以当下单个产业的盈利为目的，即使违背禀赋比较优势，也需要国家进行补贴去发展，而且通常研发周期很长。比如战斗机、航母等军事工业。对这两种产业进行模型化需要引入人力资本，或者非利润最大化的产业目标函数，所以不宜放在现在的模型中加以一并讨论。限于篇幅，我们将另文专述。

份额逐渐下降。

综上，本文对“转进型”、“领先型”和“追赶型”三类产业的创新发展路径进行讨论。第一，转进型产业相比经济体禀赋结构过于劳动密集，曾经符合比较优势，但随经济体资本劳动比提高逐渐失去比较优势，导致研发专利的市场价值较低，研发部门增加新产品种类的激励较弱，使得产业技术升级减慢，处于退出阶段。第二，领先型产业的技术已经接近或达到世界前沿，且资本密集度接近经济体禀赋结构，符合比较优势。创新成功带来的利润较高，研发部门有较强的激励增加新产品种类，但由于无法享受技术外溢，需要对研发进行较大的研发投入。因此，领先型产业处于扩张阶段，专利和研发投入越来越多。第三，追赶型产业的技术和世界前沿有较大差距，资本密集度接近经济体禀赋结构，符合比较优势。企业如果实现技术进步，将带来较多的利润，研发部门同样有较强的激励增加新产品种类。同时由于能够享受前沿的技术外溢，追赶型产业不需要进行过多的研发投入就能实现技术快速进步。随着技术接近世界前沿，发挥后来者优势的空间逐渐减少，追赶型产业越来越接近领先型产业，研发投入将逐渐增加。但是当经济体资本劳动比进一步提高，该产业可能逐渐失去比较优势，变为转进型产业。

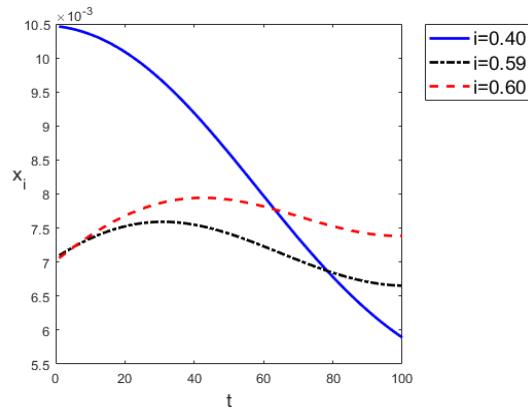


图 16 三类产业的研发支出份额 x_i 发展路径

五、结论

在我国经济从高速增长向高质量发展转换的攻关期，创新已经成为引领中国经济发展的第一动力。在此背景下，如何有效识别并理解要素禀赋结构、研发创新及产业升级的内在逻辑是至关重要的。本文基于新结构经济学理论框架，探究经济体禀赋驱动产业创新的内在机制，并且讨论了“领先型”、“追赶型”和“转进型”三类产业的创新发展路径。

首先，本文结合中国工业企业数据库和中国专利数据库，发现了一个定量事实：中国制造业子产业的发明专利申请数占整体制造业的份额和相对资本密集度呈倒 U 形曲线关系，且和离前沿的技术差距负相关。这一事实说明，当产业的资本密集度相对禀赋结构过小或过大时，产业的发明专利申请数份额都较少。然后，为了解释这些事实，本文首次在新结构经济学的理论框架下，构建了一个在要素投入密集度上存在产业异质性的动态一般均衡的创新理论模型。模型的主要发现是，产业的资本密集度越接近整个经济体的禀赋结构，越能够减少使用稀缺要素，边际成本越低，创新带来的技术进步能够得到更多利润，于是产业越有激励进行研发创新，发明专利就越多。反之，如果产业的资本密集度相对经济体禀赋结构过小或过大，产业需要使用过多的稀缺要素，导致不符合比较优势，利润较少，创新的激励较低，

使得发明专利申请数量小于资本密集度接近禀赋结构的产业,于是得到了产业发明专利申请数份额和相对资本密集度的倒U形曲线。

最后,我们在模型中引入产业与离世界前沿的技术差距和技术自动扩散机制,并结合新结构经济学五大类产业划分中的“领先型”、“追赶型”和“转进型”三类产业,在统一模型框架内对其研发投入份额的发展路径进行刻画。领先型和追赶型产业符合要素禀赋比较优势,内生技术进步速度较快。其中追赶型产业离国际前沿技术差距较大,可以享受来自技术前沿的外溢,不需要进行过多自主研发;但随着技术与国际前沿距离缩短,该产业的自主研发投入会不断上升,逐渐变成“领先型”。领先型产业附加值和利润份额都比较高,而且离技术前沿差距较小,技术进步主要依赖自主研发。随着经济体资本劳动比进一步提高,领先型产业可能会因为逐渐远离禀赋结构而变成转进型产业,此时行业的利润降低,均衡时的研发投入逐渐减少,技术进步率随之逐渐下降。

未来至少可以在以下三个方向上进行拓展研究。第一,我们只分析了新结构经济学划分的五大类产业中的三类,未来需要继续研究具有短研发周期特征的换道超车型和关乎国防安全或经济安全的战略型产业。第二,不同发展阶段产业的研发选择不同,应存在不同的知识产权制度对创新进行保护(唐恒等,2020),可在本文模型基础上进一步考察最优专利时间长度等问题,研究新结构经济学框架下的最优知识产权理论。第三,引入国际贸易,特别是结合要素禀赋驱动产业升级机制讨论国际专业化分工与创新的关系(王勇,2018)。

参考文献

- 陈斌开、伏霖,2018:《发展战略与经济停滞》,《世界经济》第1期。
- 林毅夫、张鹏飞,2005:《适宜技术、技术选择和发展中国的经济增长》,《经济学(季刊)》第5卷第4期。
- 林毅夫、潘士远、刘明兴,2006:《技术选择、制度与经济发展》,《经济学(季刊)》第5卷第3期。
- 林毅夫,2010:《新结构经济学——重构发展经济学的理论框架》,《经济学(季刊)》第10卷第1期。
- 林毅夫,2014:《解读中国经济(增订版)》,北京大学出版社。
- 林毅夫、张军、王勇、寇宗来,2018:《产业政策:总结、反思与展望》,北京大学出版社。
- 潘士远、林毅夫,2006:《发展战略、知识吸收能力与经济收敛》,《数量经济技术经济研究》第2期。
- 潘士远,2008:《技术选择、模仿成本与经济收敛》,《浙江社会科学》第7期。
- 唐恒、王勇、赵秋运,2020:《新结构经济学视角下的中国知识产权战略:理论与案例》,北京大学出版社。
- 唐未兵、傅元海、王展祥,2014:《技术创新、技术引进与经济增长方式转变》,《经济研究》第7期。
- 徐朝阳、林毅夫,2010:《发展战略与经济增长》,《中国社会科学》第3期。
- 王勇,2018:《产业动态、国际贸易与经济增长》,《经济学(季刊)》,第17卷第2期。
- 王勇、沈仲凯,2018:《禀赋结构、收入不平等与产业升级》,与沈仲凯,《经济学(季刊)》,第17卷第2期。
- 王勇,2019:《从新结构经济学角度看我国当前的财政政策调整》,《学习与探索》第8期。
- 吴延兵,2008:《自主研发、技术引进与生产率——基于中国地区工业的实证研究》,《经济研究》第8期。
- 杨汝岱,2015:《中国制造业企业全要素生产率研究》,《经济研究》第2期。
- Acemoglu, D., P. Aghion, and F. Zilibotti, 2006, “Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth”, *Journal of the European Economic Association*, 4(1): 37-74.
- Acemoglu, D., U. Akcigit, H. Alp, and N. Bloom, 2018, “Innovation, Reallocation and Growth”, *American Economic Review*, 108(11): 3450-3491.
- Aghion, P., A. Bergeaud, M. Lequien, and M. Melitz, 2018, “The Impact of Exports on Innovation: Theory and

Evidence”, NBER Working Paper 24600.

Aghion, P., P. Howitt, 1992, “A Model of Growth through Creative Destruction”, *Econometrica*, 60: 323-351.

Akcigit, U., and W. Kerr, 2018, “Growth through Heterogeneous Innovations”, *Journal of Political Economy*, 126(4): 1374-1443.

Brandt, L., J. Biesebroeck, and Y. Zhang, 2012, “Creative Accounting or Creative Destruction? Firm-level Productivity Growth in Chinese Manufacturing”, *Journal of Development Economics*, 97(2): 339-351.

Boldrin, M., D. Levine, 2009, “Quality Ladders, Competition and Endogenous Growth”, WUSTL Working Paper.

He, Z., T. Tong, Y. Zhang, and W. He, 2018, “A Database Linking Chinese Patents to China’s Census Firms”, *Scientific Data*, 5: 180042.

Herrendorf, B., and A. Valentinyi, 2018, “Endogenous Sector – Biased Technological Change and Industrial Policy”, NBER Working Paper.

Ju, J., J. Lin, and Y. Wang, 2015, “Endowment Structures, Industrial Dynamics, and Economic Growth”, *Journal of Monetary Economics*, 76: 244-263.

Klette, T., and S. Kortum, 2004, “Innovating Firms and Aggregate Innovation”, *Journal of political economy*, 112(5): 986-1018.

Kongsamut, P., S. Rebelo, and D. Xie, 2001, “Beyond Balanced Growth”, *Review of Economic Studies*, 68: 869-882.

Lin, J., 2009, *Economic Development and Transition: Thought, Strategy, and Viability*, Cambridge University Press.

Lin, J., 2017, “Industrial Policies for Avoiding the Middle-income Trap: A New Structural Economics Perspective”, *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 15(1): 5–18.

Lin, J., Z. Liu, and B. Zhang, 2019, “Endowments, Technology Choice and Structural Change”, INSE Working Paper.

Romer, P., 1990, “Endogenous Technological Change”, *Journal of political economy*, 98: 71-102.

附录

A. 1 证明：当 $\sigma \in (1, 2]$ 时，投入生产产品的禀赋结构越大，资本相对劳动的价格越便宜。

$$\frac{K_c(t)}{L(t)} = \frac{\int_0^1 i \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i-1} di}{\int_0^1 (1-i) \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i} di} = \frac{\int_0^1 i \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i-1} di}{\int_0^1 i \left(\frac{A_{1-i}(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)(1-i)} di} = a_1(\theta)$$

$$a_1(\theta) = \frac{\int_0^1 i \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i-1} di}{\int_0^1 i \left(\frac{A_{1-i}(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)(1-i)} di} = \frac{\int_0^1 i \left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(1-\sigma)i} di}{\int_0^1 i \left(\frac{A_{1-i}(t)}{A_0(t)} \right)^\sigma \theta^{(\sigma-1)i} di} \frac{1}{\theta^{2-\sigma}}$$

第一项分母随 θ 递增，分子随 θ 递减；第二项随 θ 递减，所以 $a_1(\theta)$ 随 θ 递减。

A. 2 证明：引理 1（支出份额与经济体禀赋结构）

$$\text{记 } s_i(\theta) = \frac{\left(\frac{A_i(t)}{A_0(t)} \right)^{\sigma-1} \theta^{i(1-\sigma)}}{\int_0^1 \left(\frac{A_j(t)}{A_0(t)} \right)^{\sigma-1} \theta^{j(1-\sigma)} dj} = \frac{1}{a_2(\theta)},$$

$$a_2'(\theta)/(\sigma - 1) = \int_0^1 \left(\frac{A_j(t)}{A_0(t)} \right)^{\sigma-1} (j - i) \theta^{(j-i)(1-\sigma)-1} dj$$

$$= \int_0^i \left(\frac{A_{j_1}(t)}{A_i(t)} \right)^{\sigma-1} (i-j_1) \theta^{(i-j_1)(\sigma-1)-1} dj_1 - \int_i^1 \left(\frac{A_{j_2}(t)}{A_i(t)} \right)^{\sigma-1} (j_2-i) \theta^{(i-j_2)(\sigma-1)-1} dj_2$$

由 $j_1 \in [0, i]$, $j_2 \in (i, 1]$, 得到 $0 > (i-j_1)(\sigma-1)-1 > (i-j_2)(\sigma-1)-1$ 。当 $\theta \rightarrow 0$, $\frac{\theta^{(i-j_2)(\sigma-1)-1}}{\theta^{(i-j_1)(\sigma-1)-1}} \rightarrow +\infty$, $a'_2(\theta) \rightarrow -\infty$; 当 $\theta \rightarrow +\infty$ 时, $\frac{\theta^{(i-j_1)(\sigma-1)-1}}{\theta^{(i-j_2)(\sigma-1)-1}} \rightarrow +\infty$, $a'_2(\theta) \rightarrow 0$ 。

$$a''_2(\theta)/(\sigma-1) = \int_0^i \left(\frac{A_{j_1}(t)}{A_i(t)} \right)^{\sigma-1} (i-j_1)((i-j_1)(\sigma-1)-1) \theta^{(i-j_1)(\sigma-1)-2} dj_1 - \int_i^1 \left(\frac{A_{j_2}(t)}{A_i(t)} \right)^{\sigma-1} (j_2-i)((i-j_2)(\sigma-1)-1) \theta^{(i-j_2)(\sigma-1)-2} dj_2$$

得到 $\lim_{\theta \rightarrow 0} a''_2(\theta) \rightarrow +\infty$, 当 θ 足够大时, $a''_2(\theta) < 0$ 。即 $a'_2(\theta)$ 从负无穷增加到正数, 再下

降到 0。即 $a_2(\theta)$ 随着 θ 先下降后上升, 得到 $s_i(\theta)$ 随着 θ 先上升后下降。加上 θ 随 $\frac{K_c(t)}{L(t)}$ 单调递减,

得到 s_i 随 $\frac{K_c(t)}{L(t)}$ 先上升后下降。对于 $i=0$, 恒有 $a'_2(\theta) < 0$, 得到 s_0 随 $\frac{K_c(t)}{L(t)}$ 递减; 对于 $i=1$, 恒有

$a'_2(\theta) > 0$, 得到 s_1 随 $\frac{K_c(t)}{L(t)}$ 递增。

对于 $i' > i$, 若 $a'_2(\theta^*, i) = 0$, 则 $a'_2(\theta^*, i') > 0$ 。得到若 $a'_2(\theta^{**}, i') = 0$, $\theta^{**} < \theta^*$ 。即资本密集度高的产业到达顶点更慢。

A.3 证明: 命题 1 (研发支出份额的发展路径)

$$x_i(t) = \frac{1}{A_x - \rho} s_i(t) \left(\frac{\dot{s}_i(t)}{s_i(t)} + A_x - \rho \right) = \frac{\dot{s}_i(t)}{A_x - \rho} + s_i(t)$$

由命题 1, s_i 随禀赋结构的增加先上升后下降。在 s_i 的顶点 $s_i(t^*)$ 附近取一个邻域 $(t^* - \Delta t, t^* + \Delta t)$, $\Delta t > 0$ 。在 t^* 左侧, $\dot{s}_i(t)(t^* - \Delta t) > 0$, 当 $A_x - \rho$ 足够大时, 可以得到 $x_i(t^* - \Delta t) < x_i(t^*)$; t^* 右侧, 由 $\dot{s}_i(t^* + \Delta t) < 0$, 一定有 $x_i(t^* + \Delta t) < x_i(t^*)$ 。由此在 s_i 的顶点附近得到了一个倒 U 形曲线。

Endowment Structure, Innovation and Industrial Upgrading

Summary: This paper is among the first to investigate how economic endowment structure drives innovation in heterogeneous industries within the framework of New Structural Economics.

Using the China Annual Survey of Manufacturing Firms and NIPA patent data sets, we establish the following stylized facts. First, there exists an inverted U-shaped correlation between the patent share of an industry and the relative capital intensity of the corresponding industry. Second, the patent share of an industry is negatively correlated with the productivity gap from the technological frontier at the 2-digit industry level. Similar patterns are also found in WIOD cross-country data.

Motivated by these facts, we build a multi-industry dynamic general equilibrium model, in which industries are heterogeneous in two dimensions: capital intensity and productivity gap from the world frontier. This is the first paper that theoretically incorporates endogenous innovation into the endowment-driven structural change framework advocated in New Structural Economics. The model can explain the above facts by highlighting the following mechanism: If the capital intensity of an industry is more consistent with the endowment structure, the new technologies generated by innovation in the industry will be more profitable, so the patent value will be higher and hence there will be more investment and output in R&D. In contrast, industries with too low or too high capital intensities are inconsistent with comparative advantage, so the market value of patent in such industries is lower, and therefore the R&D investment and patent shares are smaller. As the capital-labor ratio of the economy increases, and each industry with given capital intensity first moves closer to the endowment structure and then moves away from it, which implies that the patent share of this industry will exhibit an inverted U-shaped path.

Furthermore, we introduce the productivity distance from the world technology frontier into the model and simultaneously characterize the equilibrium R&D paths of leading industries, catching-up industries and exiting industries, three of the five industrial types in New Structural Economics. Leading industries are close to or at the technology frontier of the world and consistent with comparative advantage, so they must rely on their own R&D to achieve technological progress, and the shares of R&D expenditure and patents in such industries are increasing over time. The catching-up industries are sufficiently away from the frontier but also consistent with comparative advantage. They benefit from international technology spillovers and account for smaller shares in the R&D expenditure. However, as they gradually approach the frontier, R&D becomes increasingly necessary. The exiting industries are gradually losing their comparative advantages as their capital labor ratio deviates from the endowment structure, so new patents are less valuable. Consequently, the incentives for innovation are weak, and the R&D expenditure shares are getting smaller and smaller.

Our paper makes three contributions to the pertinent literature. First, few papers, if any, study the relation between endowment structure and patents at the industrial level.

This paper is the first to quantitatively document the fact that there is an inverted U-shaped relationship between the share of patents and relative capital intensity at the industrial level. Second, the existing endogenous growth literature mostly assumes single production factor and/or symmetric industries, whereas our paper introduces multiple factors and asymmetric industries that are heterogeneous in both capital intensities and distances from the world technological frontier. This new setting enables us to better explain the motivating stylized facts. Third, existing models of New Structural Economics largely assume that all technologies are freely available, and our paper is the first one to incorporate endogenous innovation into this framework and propose the endowment-driven innovation mechanism. Moreover, it is the first paper to theorize “catching-up”, “leading” and “exiting” industries that are widely applied in the literature of New Structural Economics.

Keywords: New Structural Economics; Endowment Structure; Productivity Gap; Innovation; Industrial Upgrading

JEL: O11, O31, O33, O41

中文对照

这是第一篇在新结构经济学框架下研究禀赋结构驱动产业创新的文章。

本文首先基于中国工业企业数据库和专利数据库，发现如下典型事实：产业发明专利申请数份额和相对资本密集度之间呈倒 U 形曲线关系，即当产业的资本密集度相比禀赋结构过小或过大时，发明专利申请数份额都较低。而且产业发明专利申请数份额与前沿技术差距呈负相关关系。跨国数据也支持这一发现。

其次，为了解释这些典型事实，本文构建了一个异质性产业的创新理论模型，首次将内生创新纳入新结构经济学分析框架。在基础模型中我们重点考察具有不同资本密集度的产业各自最优的创新行为如何受到禀赋结构的影响。模型很好地解释了倒 U 形曲线关系，逻辑机制如下：当一个产业的资本密集度越接近整个经济体的禀赋结构，则该产业越符合比较优势，因此在该产业进行创新所产生的新技术更有利可图，于是追求利润最大化的研发部门就越有激励进行创新，研发投入也越多，专利产出也越高。而资本密集度相对禀赋结构过小或过大的产业都不符合比较优势，相关专利市场价值就越低，所以创新的激励都较弱，研发投入和发明专利申请数份额都小于资本密集度接近禀赋结构的产业。随着经济增长，禀赋结构内生地不断提升，而每个给定资本密集度的产业都会经历先逐渐接近再逐渐远离禀赋结构的过程，即先逐渐符合再逐渐失去比较优势，而不同产业的研发部门之间也在研发投入所需的要素市场上进行竞争，因此研发支出和发明专利的份额都呈现倒 U 形曲线的发展路径。

进一步地，本文在基础模型中引入不同产业在与世界前沿的技术差距这一新维度上的异质性，对新结构经济学五大产业中领先型、追赶型和转进型三类产业的创新发展路径进行了刻画。领先型产业接近或处于世界前沿，符合比较优势，依赖自主研发，研发支出份额越来越多。追赶型产业远离世界前沿，符合比较优势，起初可以享受来自世界前沿的技术外溢，研发支出份额较少，但随着逐渐接近世界前沿，变得越来越需要自主研发，而且研发的回报率也越来越高，因此研发支出份额越来越多。转进型产业逐渐失去比较优势，创新的激励较弱，研发支出份额越来越少。

本文对文献的贡献主要体现在以下三点：第一，现有文献很少深入产业层面关注禀赋结构和发明专利之间的关系。本文首次在产业层面发现并梳理了发明专利申请数份额和相对资本密集度之间存在倒 U 形曲线关系的定量事实。第二，现有内生增长理论模型大多数假设对称产业或者单个生产要素，而本文为了解释倒 U 形曲线关系，引入多个生产要素，并且将产业在要素密集度和距世界技术前沿距离这两个维度上同时引入异质性，可以很好地解释

异质性产业在创新行为上的内生差异。第三，现有新结构经济学理论模型基本上都假设所有技术是免费可获得的，而本文首次在新结构框架内加入了内生产业创新过程，并且阐述禀赋驱动的产业创新机制，刻画了新结构经济学五大产业中三类产业的创新发展路径，为后续新结构创新研究提供了一个基准模型。